



TITLE:

空間非一様な都市構造物群上の大気乱流による運動量輸送過程に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

吉田, 敏哉

CITATION:

吉田, 敏哉. 空間非一様な都市構造物群上の大気乱流による運動量輸送過程に関する研究. 京都大学, 2019, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21582>

RIGHT:

許諾条件により本文は2019-04-01に公開; The content in Chapter 3 of this thesis is translated by permission from Springer Nature: Springer Nature, Boundary-Layer Meteorology, Yoshida, T., T. Takemi, and M. Horiguchi, 2018: Large-eddy-simulation study of the effects of building-height variability on turbulent flows over an actual urban area. 168 (1), 127-153. doi: 10.1007/s10546-018-0344-8.

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	吉田 敏哉
論文題目	空間非一様な都市構造物群上の大気乱流による運動量輸送過程に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>地球大気の中でも地表面に接する大気境界層では、乱流が卓越し、運動量が鉛直方向に活発に輸送される。乱流およびそれによる運動量輸送は、地表面の形状によって変化する。特に、空間的に非一様に構造物が存在する都市の場合には、大気の流れが時間的・空間的に大きく変動する。都市大気境界層での大気運動の理解には、乱流による運動量輸送過程を解明することが重要である。本研究では、大気乱流の運動量輸送過程に及ぼす都市構造物群の影響について、Large-eddy simulation (LES)による数値解析により調べた。特に、構造物の高さのばらつきに着目して解析した。</p> <p>最初に、都市構造物群上の大気乱流を計算可能なLESモデルを用い、京都市街地の実際の建物データを取り込み、南北11 km・東西2 kmの広域を対象に乱流の計算をした。モデル計算の妥当性を検証するため、京都市内の京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーで実施された乱流観測のデータにより計算結果を検証し、接地層内での風速の平均値や変動成分がLESにより良好に表現できることを確認した。</p> <p>乱流の運動量輸送に及ぼす建物高さのばらつきの影響を調べるため、京都市街地の実際の建物データを使用した場合の計算に加え、計算領域内の建物高さを市街地内の平均建物高さに設定した感度実験も行った。これら二通りの数値実験から、乱流運動量輸送に及ぼす建物高さのばらつきの影響は、平均建物高さよりも上空で明瞭に現れることを示した。また、構造物が占める面積率である建蔽率との関係を見ると、建蔽率が0.3以上の場合に、建物高さが乱流運動量輸送に及ぼす影響が顕在化すること、そして平均高さ以上の高度でスweepによる下向き輸送が卓越することを示した。</p> <p>次に、混合長や運動量輸送に及ぼす建物高さのばらつきの影響を調べるため、高さのばらつきを有する粗度ブロック列を設定し、粗度高さのばらつき度合いを変化させた数値実験をした。実験結果から、混合長は、粗度高さ毎に極小値が現れ、その中間の高さで極大値を取り、粗度高さの数に応じて極小値・極大値が現れることが示された。さらに、運動量輸送をレイノルズ応力と時間平均流の空間変化により生じる応力 (dispersive stress) とに分割して解析した結果、dispersive stressの効果は、粗度高さが一定の場合にはゼロに近いが、高さのばらつきが大きくなるとその効果が大きくなり、特に低層の粗度の高さでレイノルズ応力と同程度になることが分かった。さらに、建物周りの運動量輸送を詳細に調べた結果、高い粗度の周囲で形成される流れ場がdispersive stressの生成に寄与することが分かった。</p> <p>最後に、東京都心部の建物データを使用した場合のLESを実行し、実在都市の場合に現れる混合長や運動量輸送の特徴を調べた。実在都市の場合の建物高さはより複雑ではあるものの、実在都市の場合にも、単純な粗度ブロック列の場合と同様に、都市キャノピー内において混合長が大きく変化したりdispersive stressが運動量輸送に大きく寄与したりといった特徴が認められた。</p> <p>以上の通り、本研究では、複雑地表面形状のうち都市を対象として、大気乱流の統計的性状や運動量輸送過程に及ぼす非一様に分布する粗度の影響を明らかにした。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

大気境界層は、乱流が卓越する地面付近の大気層であり、運動量・熱・水蒸気などの鉛直輸送を通して、気象・気候に大きな影響を及ぼす。これら乱流による輸送過程は、水平一様な地表面を対象として、接地層理論として定式化されている。一方、複雑地表面上での乱流の挙動については未解明な点が多い。本研究では、乱流を陽に解析できる数値計算手法のLESを用い、空間非一様な都市構造物群上で形成される乱流の統計的性状および運動量輸送過程を明らかにすることを目的とした。都市境界層の乱流については、従来は、一定高さの粗度ブロックにより都市構造物を模して風洞実験や数値実験により研究されてきた。本研究では、高層ビルや中低層ビルが混在する都市を想定し、建物の高さのばらつきに着目した点が新しい。

申請者は、LESモデルによる数値解析を始める前に、まず、乱流の野外観測データによりモデルを検証した。LESモデルは力学過程に注目するために中立成層大気を仮定しているため、データから中立条件を抽出し、注意深くモデルの妥当性を示した。この検証に基づき、京都市街地の建物データを用いてLESを実施し、また建物高度を市街地平均の高さに設定した感度実験も行うことで、高さのばらつきの影響を明らかにするための解析をした。市街地を広範囲にカバーする大規模LESにより、粗度密度を示す建蔽率の様々な値に関して乱流による運動量輸送を整理したというように、数値実験はよくデザインされたものである。建蔽率が0.3を超えると建物高さのばらつきが乱流運動量輸送に及ぼす影響が顕在化すること、特に、高い建物により生じる大きなレイノルズ応力の効果が顕著であることを明らかにした。この特徴を実在都市の場合で示したことが評価でき、高さのばらつきの影響が実在都市での乱流形成の場合に重要であることを示した点が独自性の高い成果であると言える。また、一見ランダムに建物が配置しているように見える実在都市でも、一般性のある特徴を定量的に示すことができた。

規則配置した粗度ブロック列のLES解析では、高さのばらつきの影響が混合長や運動量輸送にどのように現れるかを詳細に調べた。混合長は一般に、水平一様な地表面では高さに比例して決まるとされるが、本研究では、構造物群上で混合長は、粗度高さの数に応じて極小値・極大値が現れるという新しい結果を得た。また、粗度高さのばらつきが大きくなると流れ場の非定常性が高くなり、時間平均した流れ成分の影響も無視できなくなり、高い粗度と低い粗度とがそれぞれdispersive stressの形成に寄与していることを示した点は、独自性のある成果として高く評価できる。こういった建物高さのばらつきが混合長や運動量輸送へ及ぼす影響は、東京都心という実在都市においても同様に現れることを示した。

本研究は、実在都市という複雑地表面上での乱流輸送過程の理解を深めることに貢献した。従来の接地層理論では地表面は水平一様と仮定されてきたものが、実際の地表面は複雑な場合が多い。本研究は、粗度高さのばらつき効果をLES計算により定量化し、高さのばらつきが乱流特性や運動量輸送において重要な意味を持つことを示した。また、本研究の成果は、実在都市に即した乱流輸送の新しいパラメタリゼーションの構築に繋がるものと期待される。このように申請者の研究は、微細気象学・応用気象学の分野において重要な貢献をしたものとして高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年1月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。